发展性阅读障碍儿童阅读中的眼跳定位缺陷：基于新词学习的实验证据*

梁菲菲 [1] 马杰 [2] 李馨 [2] 连坤予 [2] 谭珂 [2] 白学军 [1,2]

([1]天津师范大学教育科学学院，天津 300387) ([2]天津师范大学心理与行为研究院，天津 300074)

摘 要 通过与生理年龄匹配儿童比较新词重复学习中眼跳定位模式变化的异同，探讨发展性阅读障碍儿童在新词学习中的眼跳定位是否存在缺陷。以发展性阅读障碍儿童和生理年龄匹配儿童为被试，采用重复学习新词范式，结果发现：（1）与生理年龄匹配组相比，发展性阅读障碍儿童跳入新词的眼跳距离较短、多次注视中的首次注视落点位置更靠近词首；（2）生理年龄匹配组儿童利用学习次数调节新词眼跳定位模式的能力高于发展性阅读障碍儿童，即随着新词学习次数的增加，生理年龄匹配组儿童跳入和跳出新词的眼跳距离随之增长，首次注视落点位置更靠近词中心；相比之下，发展性阅读障碍儿童仅在跳出新词的眼跳距离上有所增长，但增加幅度也显著小于生理年龄匹配组。结果表明，发展性阅读障碍儿童在新词学习中的眼跳定位，及利用学习次数对眼跳定位的调节上均表现出一定缺陷。

关键词 发展性阅读障碍; 新词学习; 眼跳定位; 中文阅读

1 问题提出

发展性阅读障碍（developmental dyslexia）儿童的典型表现是词汇量显著少于正常儿童（白学军，张明哲，孟红霞，谭珂，王雯，2018；郭志英，谭珂，宋星，彭国慧，白学军，2018；李馨等人，2019; Meng, Cheng-Lai, Zeng, Stein, & Zhou, 2011; Shu, McBride-Chang, Wu, & Liu, 2006; Zhang, Xie, Xu, & Meng, 2018）。在小学时期，词汇学习的主要方式之一是从阅读中附带习得（梁菲菲，章鹏，张琪涵，王永胜，白学军，2017; Nagy & Scott, 2000），因此，考察发展性阅读障碍儿童阅读中的新词学习效率成为该研究领域的核心问题。早期研究主要采用个体自我报告等主观测量法作为衡量阅读中新词学习效率的主要手段（Kuhn & Stahl, 1998）。眼动追踪技术（eye tracking technology）在该领域的运用使得研究者可以同时从“when”（何时移动眼睛）和“where”（将眼睛移至何处）两个方面揭示新词学习的内在认知加工过程（梁

收稿日期：2018 年 11 月 28 日

* 国家自然科学基金（31600902, 31571122）和天津市哲学社会科学规划课题（TJJX16-013）。

通讯作者：白学军，E-mail: baixuejun@tjnu.edu.cn；梁菲菲，E-mail: feifeiliang_329@126.com

菲菲，王永胜，张慢慢，闫国利，白学军，2016；王永胜，陈茗静，赵冰洁，李馨，白宇鸽，2017; Blythe et al., 2012; Chaffin, Morris, & Seely, 2001; Joseph & Nation, 2018; Joseph, Wonnacott, Forbes, & Nation, 2014; Liang et al., 2017; Liang et al., 2015; Lowell & Morris, 2014; Weighall, Henderson, Barr, Cairney, & Gaskell, 2017）。

研究者已从"when"的视角发现，发展性阅读障碍儿童在新词学习时的眼动注视模式变化异于正常儿童，即发展性阅读障碍儿童在新词的首次注视时间和凝视时间上需要更多的语境才出现显著下降，且在总注视时间上表现出更缓慢地下降，表现出阅读中新词学习能力的低下（白学军等人, 2019）。鉴于"when"（反映加工时间的长短）和"where"（反映落点位置的有效程度）是阅读眼动控制两个相互独立的子系统（Rayner, 2009），在发展与成熟上表现出差异（Blythe & Joseph, 2011; Reichle et al., 2013）："when"主要受高水平语言特征的影响，随着年龄的增长，儿童各项语言操作技能随之提高，词汇加工速度逐渐提高，并在11 岁左右达到成人水平（Reichle et al., 2013）；"where"主要受低水平文本特征的影响，在7 岁左右发展到成人水平（Blythe & Joseph, 2011）。那么，发展性阅读障碍儿童在阅读中的新词学习效率低下，仅源于他们在"when"方面的缺陷，还是同时源于"where"方面的缺陷有待于研究。明确汉语发展性阅读障碍儿童在新词学习中的眼跳定位是构建新词学习眼动控制模型的基础，也是寻找发展性阅读障碍儿童新词学习效率改善途径的重要理论基础。

目前，关于汉语阅读障碍儿童在阅读中的眼跳定位是否存在缺陷还无定论。白学军等人（2011）比较了汉语发展性阅读障碍儿童、及其生理年龄匹配和阅读能力匹配儿童在阅读中的眼跳定位。他们采用 Yan, Kliegl, Richter, Nuthmann 和 Shu 等人（2010）的数据处理方法，将首次注视位置数据分成单一注视（即在第一遍注视中有且只有一个注视点，single fixation cases）和多次注视（即在第一遍注视中有两个或两个以上注视点，multiple fixation cases）。结果发现，三组儿童在阅读中存在相同的眼跳定位模式：在单一注视中，三组儿童均倾向于注视双字词的词中心；在多次注视中，所有儿童均倾向于将首次注视落在词首。鉴于后来研究对这种分离统计方法的质疑（Li, Liu, & Rayner, 2011），即不论读者按照什么方式控制眼动，即使采用恒定的眼跳长度策略控制眼动（Li et al., 2011），如果首次落点位于词中心，下一次落点跳出该词的概率显然大于首次落点位于词首的概率。因此，汉语阅读障碍儿童在阅读中的眼跳定位是否存在缺陷有待于进一步研究。

与阅读熟悉词相比，阅读中新词学习的眼跳定位具有如下特殊性：一方面，结合已有研

究发现（Liu, Reichle, & Li, 2015, 2016; Liu, Huang, Li, & Gao, 2017），词频是影响读者眼跳定位的重要因素之一，即与高频词相比，读者跳入低频词的眼跳距离更短，首次注视落点位置更靠近词首，且跳出低频词的眼跳距离也更短。新词类似于极端低频词加工（Blythe et al, 2012; Chu & Leung, 2005），由此推测，读者在新词学习上的眼跳定位会更加困难；另一方面，在阅读中学习新词时，由于读者头脑里缺乏自上而下的词汇表征，只能依赖于自下而上的加工进行新词识别。在该加工过程中，读者首先会通过副中央凹预视获取新词的部分信息，如正字法、语音等（Pollatsek, Tan, & Rayner, 2000; Yan, Richter, Shu, & Kliegl, 2009），之后在中央凹视野完成词汇通达。研究发现，发展性阅读障碍儿童的阅读知觉广度较小（熊建萍, 2014），且在词素的正字法、语音、语素加工上均存在缺陷（Ho, Chan, Tsang, & Lee, 2002; Ho, Law, & Ng, 2000; Shu et al., 2006）。由此推断，发展性阅读障碍儿童在对新词进行副中央凹预视时较为困难，可能影响其眼跳定位。因此，本研究的第一个目的是探讨发展性阅读障碍儿童在新词学习时的眼跳定位是否与正常儿童存在差异。

读者在阅读中的眼跳定位受诸多因素的调节，如，词间空格（在无词间空格时，读者在词上的偏向注视位置由词中心移向词首，见 Paterson & Jordan, 2010; Perea & Acha, 2009; Rayner, Fischer, & Pollatsek, 1998; Sheridan, Rayner, & Reingold, 2013）、词长（随着词长的增加，读者在单词上的首次注视位置离词首越远，且再注视概率增高，见 Joseph, Liversedge, Blythe, White, & Rayner, 2009; Paterson, Almabruk, McGowan, White, & Jordan, 2015）、词素结构（语素结构较为复杂时，首次注视位置从词中心移向词尾，见 Hyönä, Yan, & Vainio, 2018; Yan et al., 2014）等。探讨眼跳定位如何受低水平视觉信息及高水平语言学信息的调节，是阅读眼动控制的重要内容，也是阅读眼动认知控制模型（如 E-Z 阅读者模型，见 Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006，以及 SWIFT 模型，见 Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005）修正的依据。

已有研究发现，在汉语阅读中，读者会根据目标词的加工难度动态调节基本的眼跳定位，即目标词的加工难度通过影响副中央凹和中央凹的加工难度，影响读者的眼跳定位，具体表现为目标词加工难度越大，跳入目标词的眼跳距离越短，首次注视落点位置更靠近词首，且跳出目标词的眼跳距离也更短（Liu, Guo, Yu, Reichle, 2018; Liu, Yu, & Reichle, 2019; Ma & Li, 2015; Perea et al., 2009; Rayner, Ashby, Pollatsek, & Reichle, 2004; Rayner, Binder, Ashby, & Pollatsek, 2001; Wei, Li, & Pollatsek, 2013; Yan & Kliegl, 2016）。由于新词学习是一个重复的

过程，即读者要对每个新词进行多个语境的重复学习，才能在头脑中建立并逐步巩固新词的词汇表征。随着学习次数的增加，读者头脑中关于新词词素在形、音、义上的联结逐步增强，新词的词汇表征逐步完善（白学军等, 2019; Blythe et al., 2012; Joseph et al., 2014; Liang et al., 2015, 2017）。这也意味着随着学习次数的增加，随着对新词形、音、义上越来越熟悉，新词的加工难度其实在逐步降低（Joseph et al., 2014），那么，读者在新词上的眼跳定位是否会随着学习的深入而进行调整？

已有研究从“when”角度发现，随着学习次数的增加，发展性阅读障碍儿童和正常儿童在新词上的注视时间均出现下降的趋势。不同的是，发展性阅读障碍儿童呈连续下降模式，而正常儿童呈阶梯式下降模式。该研究结果表明，学习次数的增加在一定程度上增加了读者对新词的熟悉程度，进而降低了新词的加工难度，促进了新词学习（Blythe et al., 2012; Liang et al., 2015, 2017）。可能由于发展性阅读障碍儿童在字词识别过程中的认知加工缺陷（如语素意识缺陷，语音意识缺陷等，见Ho et al., 2000; Ho et al., 2002; Shu et al., 2006），随着学习次数的增加，他们在新词上的注视时间下降较为缓慢，表现出新词学习效率的低下。那么，学习次数的增加对发展性阅读障碍儿童新词学习时眼跳定位的影响是否异于正常儿童？本研究的第二个目的是探讨发展性阅读障碍儿童利用新词学习次数调节眼跳定位的能力是否存在缺陷。

采用重复学习新词范式，通过比较发展性阅读障碍（以下简称 DD）和生理年龄匹配（以下简称 CA）儿童重复学习新词时眼动行为的变化，首先探讨两组儿童在新词学习中眼跳定位的差异；在此基础上，探讨学习次数对 DD 儿童眼跳定位的影响。基于前期有关汉语阅读眼跳定位的研究成果（白学军等人, 2011; Liu et al., 2015, 2016, 2018; Ma et al., 2015; Wei et al., 2013; Yan et al., 2016），以及新词学习眼跳定位的特殊性，本研究预期：（1）由于新词的加工难度较大（Blythe et al., 2012），DD 儿童在阅读中进行新词学习时的眼跳定位存在缺陷，表现为与正常儿童相比，注视新词的首次落点位置更偏向词首，且跳入新词的眼跳距离较短；（2）DD 儿童利用学习次数调节新词学习眼跳定位的能力差于正常儿童。

2 研究方法

2.1 被试

对天津市三所小学以及福建省一所小学 881 名五年级小学生进行测试，筛选出 22 名 DD 儿童（包括男生 17 人，女生 5 人）和 22 名 CA 组（包括男生 12 人，女生 10 人）儿童

参与实验。

筛选标准如下。首先，要求 881 名五年级小学生进行《小学生汉字识字量测验》（王孝玲，陶保平，1996）和《联合瑞文推理测验》（李丹，胡克定，陈国鹏，金瑜，李眉，1988）。根据测验成绩对被试分组：（1）DD 组，智力处于中等或良好水平，识字量低于同年级平均成绩 1.5 个标准差以上；（2）CA 组，与 DD 组同年龄且智力水平相当，且识字量处于同年级平均成绩上下 0.5 个标准差以内。其次，要求筛选出来的小学生进行阅读流畅性测验（包括一分钟快速读词、三分钟句子阅读）（王晓辰，2010；Li, & Wu, 2015）和个体认知能力测验（包括正字法意识测验、语音意识测验、言语短时记忆测验、快速自动命名测验）（林传鼎，张厚粲，1986；凌文辁，滨治世，1988；邹艳春，2003；Cheng, Li, & Wu, 2015; Denckla & Rudel, 1974; Shu, Meng, Chen, Luan, & Cao, 2005）。根据测验成绩保留 DD 组中阅读流畅性测验成绩低于 CA 组平均成绩 1 个标准差以上，且至少有一项个体测验成绩低于 CA 组 1 个标准差以上的被试。

各组被试的平均年龄及各项测验成绩见表 1。

表 1　各年龄组被试的平均年龄及各项测验成绩

各项测验	DD 组	CA 组	*t*
年龄(月)	126 (6.20)	129 (8.46)	1.47
智力(标准分)	107 (11)	110 (11)	1.07
识字量(字)	2122 (237)	2963 (199)	12.24***
正字法意识	71 (7.58)	79 (6.33)	3.81**
语音意识			
音节判断	34 (2.42)	36 (0.59)	2.91**
音位删除	10 (4.51)	17 (5.32)	5.21***
声母/韵母/声调辨别	28 (3.52)	30 (4.29)	1.63
言语工作记忆			
数字广度（顺背+倒背）	14 (2.76)	17 (2.71)	3.11**
汉字广度	8.95 (2.44)	9.14 (1.83)	0.31
快速命名（RAN）			
数字 RAN 反应时	24 (4.82)	21 (2.19)	3.14**
字母 RAN 反应时	30 (7.01)	23 (2.34)	3.87***
颜色 RAN 反应时	48 (8.07)	42 (6.72)	3.40**
阅读流畅性			
一分钟读词(词/分)	82 (12)	94 (12)	2.87**
三分钟阅读(字)	359 (81)	521 (65)	7.04***

注：括号内为标准差，*** $p<0.001$，** $p<0.01$，* $p<0.05$，以下同。

经检验发现：在年龄、智力、声母/韵母/声调辨别、汉字广度上，DD 组和 CA 组差异

不显著（*ts*<1.63，*ps*>0.05）；在识字量、正字法、音节判断、音位删除、数字广度、数字/字母/颜色快速命名、一分钟读词和三分钟阅读测验上，DD 组的表现均显著差于 CA 组（*ts*>2.87，*ps*<0.008，*ds*>1.17）。由此可知，本研究选取的 DD 儿童主要存在正字法意识缺陷、语音意识缺陷、言语工作记忆缺陷、快速命名缺陷和阅读流畅性缺陷。

2.2　实验材料

采用白学军等人（2019）的实验材料。共包含 30 个新词。将新词放在句子中间，句子长度为 13～14 个汉字。句子难度的平均值为 4.47（*SD*=0.35），句子通顺性的平均值为 4.31（*SD*=0.29），表明句子容易理解且通顺。通过 8 个句子，将每个新词描述成某个常见语义类别的新成员。共设有 10 个语义类别：文具、职业、花类、建筑物、交通工具、衣服、药类、动物、家具、水果。每个语义类别包含 3 个假词。为每个新词随机设置 1～3 个阅读理解题目以及 1 个语义类别选择题目，考察被试是否真正理解句子的含义以及对新词语义类别的掌握程度。材料举例见表 2。

表 2　实验材料举例

学习阶段	语境编号	例句
阶段 1	语境 1	空荡荡的**鞋懂**里摆放着许多桌子。
	语境 2	每天有许多人在**鞋懂**里随意出入。
	语境 3	他们经常在**鞋懂**里举行大型活动。
	语境 4	这座雄伟的**鞋懂**的设计十分新颖。
阶段 2	语境 5	在通风处建造**鞋懂**是明智的选择。
	语境 6	人们没有养成给**鞋懂**上锁的习惯。
	语境 7	妹妹喜欢在**鞋懂**里的游戏场玩耍。
	语境 8	开发区里新建的**鞋懂**有几十栋。
语义类别选择题目：请选择“鞋懂”属于以下哪个类别？		
（1）桥梁　（2）纪念碑　（3）楼房　（4）博物馆		

为降低被试的疲劳效应，将 30 个新词分为 2 组，每组包含 15 个新词，120 个句子。每个被试阅读其中一组材料。两组材料在字频、笔画数、词素位置概率（包括首字和尾字）、新词的平均联想值以及包含新词的句子的通顺性和难度上（如表 3 所示），均无显著差异（*ts*<1.64，*ps*>0.05），表明两组材料同质。

表 3　两组新词的材料特性

目标词属性	组1	组2	*t*
字频	317	300	0.14
笔画数	8.83	8.50	0.45

词素位置概率（首字）	0.50	0.50	1.19
词素位置概率（尾字）	0.50	0.50	1.19
平均联想值	1.04	1.01	1.13
句子通顺性	4.49	4.45	1.64
句子难度	4.54	4.54	0.18

2.3 实验仪器

采用加拿大 SR Research 公司 Eyelink1000 眼动仪，采样率为 1000Hz，屏幕分辨率为 1024×768 像素，刷新率为 120Hz。被试眼睛与屏幕之间的距离为 65cm。字体为宋体 18 号，每个汉字大小为 25×25 像素，水平视角为 0.74°。

2.4 施测程序

每个被试单独施测。首先进行眼校准（五点模式），平均误差小于 0.5°。随后进入正式实验，要求被试认真阅读实验语句，按鼠标左键完成一个句子阅读，并通过鼠标按键在屏幕上选择阅读理解题目和语义类别选择题目的正确答案。每名被试分两次学习 15 个新词，中间休息 10 分钟。整个实验大约持续 45 分钟。

2.5 兴趣区划分

将新词作为兴趣区。基于前人研究（白学军等, 2011; Yan et al., 2010; Zang, Liang, Bai, Yan, & Liversedge, 2013），将新词划分为 4 个区域，对于分别落在区域 1、2、3、4 中的注视，注视位置编码分别为 0-0.5、0.5-1、1-1.5、1.5-2，如图 1 所示。

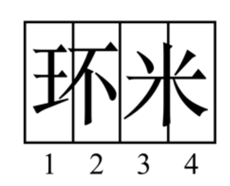


图 1 新词兴趣区的划分

3 结果

DD 组和 CA 组的阅读理解正确率均在 80%以上（DD 组：*M*=80%；CA 组：*M*=87%），语义类别选择正确率均在 95%以上（DD 组：*M*=95%；CA 组：*M*=99%），表明两组被试均认真阅读了句子，且经过八个语境的学习，均能正确掌握新词的语义类别。经检验，DD 组的阅读理解正确率和语义类别选择正确率均显著低于 CA 组（$t(32)=2.32$，$p=0.027$，$d=0.82$；$t(26)=2.06$，$p=0.049$，$d=0.81$），表明 DD 组的阅读理解能力和语义推断能力均差于 CA 组。

根据如下标准删除数据（Blythe et al., 2012; Joseph et al., 2014; Liang et al., 2015, 2017）：（1）注视点少于 3 个的句子（0.88%）；（2）眼动数据追踪丢失（0.05%）；（3）3 个标准差以外（0.4%）。共删除总数据的 1.33%。

将新词作为兴趣区，选取如下眼动指标作为因变量：平均首次注视落点位置（mean landing positions for initial fixations）及其分布；单次注视条件下的首次注视落点位置及其分布；多次注视条件下的首次注视落点位置及其分布；再注视比率（refixation probability）及其分布；跳入新词的眼跳距离（incoming saccade length）和跳出新词的眼跳距离（outgoing saccade length）。

3.1　同质性检验

通过考察两组被试阅读两组材料时的眼跳目标定位是否一致，检验两组材料是否同质。基于 R 语言（R Core Team, 2014）环境下的线性混合模型（Linear Mixed Model, LMM）对数据进行分析，采用 lme4 数据处理包（Bates, Maechler, & Bolker, 2012），指定被试和项目作为交叉随机效应。使用马尔可夫链蒙特卡罗（Markov-Chain Monte Carlo）算法得出的事后分布模型参数来作为显著性的估计值（Baayen, Davidson, & Bates, 2008）。将材料组别作为固定因素，分别检验 DD 组和 CA 组在两组实验材料条件下的结果是否一致（结果见表 4 所示，固定效应分析结果见表 5）。首先采用最大化随机效应结构，当模型无法拟合时，再逐级递减。由于最后结果与最简随机效应模型结果一致，因此报告最简随机效应模型的统计结果。

表 4　DD 组和 CA 组在两组实验材料上的眼跳定位

注视位置指标	DD组		CA组	
	材料1	材料2	材料1	材料2
平均首次注视位置（字）	0.87 (0.51)	0.77 (0.52)	1.01 (0.52)	0.89 (0.52)
跳入新词眼跳距离（字）	2.21 (0.99)	1.96 (0.97)	2.51 (0.89)	2.34 (0.90)
跳出新词眼跳距离（字）	2.23 (1.26)	2.04 (1.04)	2.33 (1.08)	2.41 (0.99)

表 5　材料类别在眼跳目标分析指标上的固定效应估计值

组别	模型	平均首次注视位置				跳入新词眼跳距离				跳出新词眼跳距离			
		b	*SE*	*t*	CI	*b*	*SE*	*t*	CI	*b*	*SE*	*t*	CI
DD组	截距	0.97	0.11	9.20***	0.76 – 1.17	2.64	0.33	8.10***	2.00－3.27	2.72	0.45	6.03***	1.83－3.60
	材料类别	-0.08	0.07	-1.22	-0.21 – 0.05	-0.30	0.21	-1.45	-0.70－0.11	-0.31	0.29	-1.08	-0.87－0.25
CA组	截距	1.11	0.09	11.95***	0.93 – 1.29	2.68	0.24	11.09***	2.21 – 3.15	2.29	0.33	7.02***	1.65 – 2.93
	材料类别	-0.11	0.06	-1.86	-0.22 – 0.01	-0.17	0.15	-1.09	-0.47 – 0.13	0.09	0.21	0.42	-0.32 – 0.49

经检验发现：在平均首次注视位置、跳入和跳出新词的眼跳距离三个反映眼跳定位的主要眼动指标上，DD 组和 CA 组阅读两组材料的眼动结果均无差异（*ts*<1.86，*ps*>0.05），表明两组被试阅读两组材料的实验数据结果是同质的。因此，在随后分析中，将两组材料合并分析。

3.2 学习次数对 DD 儿童眼跳定位的调节作用

通过比较不同学习阶段条件下，DD 儿童和 CA 儿童在学习新词时的眼跳定位特点，探讨学习阶段对 DD 儿童眼跳定位的影响。将学习次数 1～4 作为新词学习的第 1 学习阶段，学习次数 5～8 作为新词学习的第 2 学习阶段。采用线性混合模型，将组别、学习阶段以及两因素的交互作用作为固定因素，由于起跳位置（launch site）会影响眼跳定位（见 Cutter, Drieghe, & Liversedge, 2017; Hyönä et al., 2018），在分析时，将起跳位置作为协变量纳入模型进行分析。

两组被试在两个学习阶段中的新词眼跳目标定位结果见表 6，固定效应分析结果见表 7。

表 6 新词的眼跳目标和注视位置分析

注视位置指标	DD组		CA组	
	学习阶段1	学习阶段2	学习阶段1	学习阶段2
平均首次注视位置（字）	0.84 (0.51)	0.80 (0.53)	0.91 (0.51)	0.98 (0.53)
跳入新词眼跳距离（字）	2.11 (1.02)	2.05 (0.95)	2.41 (0.92)	2.45 (0.88)
跳出新词眼跳距离（字）	2.08 (1.20)	2.19 (1.11)	2.23 (1.01)	2.50 (1.05)
再注视比率（%）	53 (50)	44 (50)	44 (50)	30 (46)

表 7 组别和学习阶段在眼跳目标分析指标上的固定效应估计值

模型	平均首次注视位置				跳入新词眼跳距离				跳出新词眼跳距离				再注视比率			
	b	*SE*	*t*	CI	*b*	*SE*	*t*	CI	*b*	*SE*	*t*	CI	*b*	*SE*	*t*	CI
截距	1.14	0.03	35.67***	1.08－1.20	1.14	0.03	35.67***	1.08－1.20	2.26	0.08	26.65***	2.09－2.42	-0.67	0.14	-4.81***	-0.94－-0.40
组别	-0.12	0.06	-2.14*	-0.23－-0.01	-0.12	0.06	-2.14*	-0.23－-0.01	-0.15	0.16	-0.94	-0.45－0.16	0.42	0.24	1.74	-0.05－0.90
学习阶段	0.02	0.02	1.13	-0.01－0.05	0.02	0.02	1.13	-0.01－0.05	0.17	0.03	5.18***	0.11－0.24	-0.56	0.07	-7.52***	-0.71－-0.42
起跳位置	-0.17	0.01	-18.27***	-0.19－-0.15	0.83	0.01	87.24***	0.81－0.85	0.13	0.01	9.31***	0.10－0.15	0.18	0.04	4.04***	0.09－0.26
组别*学习阶段	-0.10	0.03	-2.93**	-0.16－-0.03	-0.10	0.03	-2.93**	-0.16－-0.03	-0.13	0.07	-1.94	-0.26－0.00	0.22	0.15	1.50	-0.07－0.52
比较1：DD	0.03	0.02	1.10	-0.02－0.07	0.04	0.04	1.00	-0.04－0.12	-0.13	0.05	-2.72**	-0.22－-0.04				
比较2：CA	-0.07	0.02	-2.95**	-0.12－-0.02	-0.04	0.04	-1.10	-0.13－0.04	-0.28	0.05	-5.85***	-0.37－-0.18				

注：比较 1 是 DD 在两个学习阶段上的眼跳注视位置差异；比较 2 是 CA 在两个学习阶段上的眼跳注视位置差异。

3.2.1 平均首次注视位置及其分布

在平均首次注视位置上，与 CA 组相比，DD 组在新词上的平均首次注视位置更靠近词首（*b*=-0.12，*SE*=0.06，*t*=-2.14，*p*=0.039）。学习阶段 1 和 2 的差异不显著（*b*=0.02，*SE*=0.02，*t*=1.13，*p*=0.258）；组别和学习阶段的交互作用显著（*b*=-0.10，*SE*=0.03，*t*=-2.93，*p*=0.003）。

进一步分析发现，DD 组在两个学习阶段中的平均首次注视位置无显著差异（b=0.03，SE=0.02，t=1.10，p=0.273）；与学习阶段 1 相比，CA 组在学习阶段 2 中的平均首次注视位置更靠近词中心（b=-0.07，SE=0.02，t=-2.95，p=0.003）。

3.2.2 跳入和跳出新词的眼跳距离

在跳入新词的眼跳距离上，DD 组显著短于 CA 组（b=-0.12，SE=0.06，t=-2.14，p=0.039）。学习阶段 1 和 2 的差异不显著（b=0.02，SE=0.02，t=1.13，p=0.258）。组别和学习阶段的交互作用显著（b=-0.10，SE=0.03，t=-2.93，p=0.003）。进一步分析发现，两组儿童在两个学习阶段中跳入新词的眼跳距离均无差异（DD 组：b=0.04，SE=0.04，t=1.00，p=0.319；CA 组：b=-0.04，SE=0.04，t=-1.10，p=0.272）。

在跳出新词眼跳距离上，DD 组与 CA 组差异不显著（b=-0.15，SE=0.16，t=-0.94，p=0.352）。学习阶段 1 跳出新词的眼跳距离比学习阶段 2 更短（b=0.17，SE=0.03，t=5.18，p<0.001）。组别和学习阶段的交互作用边缘显著（b=-0.13，SE=0.07，t=-1.94，p=0.052）。进一步分析发现，DD 组和 CA 组在学习阶段 1 的跳出新词的眼跳距离均显著短于学习阶段 2（DD 组：b=-0.13，SE=0.05，t=-2.72，p=0.006；CA 组：b=-0.28，SE=0.05，t=-5.85，p<0.001），但 CA 组在两个学习阶段中的差异更大（CA：平均差值=0.27; DD：平均差值=0.11）。

3.2.3 再注视比率

DD 组的再注视比率与 CA 组差异不显著（b=0.41，SE=0.24，t=1.74，p=0.083）。学习阶段 1 的再注视比率高于学习阶段 2（b=-0.56，SE=0.07，z=-7.52，p<0.001）。学习阶段和组别的交互作用不显著（b=0.22，SE=0.15，z=1.50，p=0.133）。

综合上述结果，DD 儿童在阅读中进行新词学习的眼跳定位存在一定缺陷，具体表现为：与正常儿童相比，DD 儿童跳入新词的眼跳距离更短。此外，DD 和 CA 两组儿童在新词学习中的眼跳定位均受学习阶段的调节，但在调节程度和方式上有所不同：首先，对于 CA 组，学习次数的增加使得他们跳出新词的眼跳距离均增长，首次注视落点位置更靠近词中心，再注视比率更低；对于 DD 组，学习次数的增加使他们跳出新词的眼跳距离增长，但调节幅度小于 CA 组，再注视比率更低，但对跳入新词的眼跳距离无影响。

4 讨论

本研究探讨了 DD 与 CA 两组儿童在新词学习上的眼跳定位差异，以及学习阶段对两组儿童眼跳定位的调节作用。结果发现：（1）DD 儿童在新词学习上的眼跳定位存在缺陷，表

现为相比于正常儿童，DD 儿童跳入新词的眼跳距离较短；（2）两组儿童在新词学习中的眼跳定位均受学习次数的调节，其中对 DD 儿童的调节作用主要表现在跳出新词的眼跳距离上，对 CA 儿童的调节作用既表现在跳出新词的眼跳距离，也表现在平均首次注视位置上。基于 DD 儿童的认知缺陷以及眼跳定位的加工机制，对上述结果作如下讨论。

4.1 DD 儿童在新词学习中的眼跳定位缺陷

在汉语阅读中，读者的眼跳定位同时受目标词的副中央凹和中央凹加工所决定（Liu et al., 2015, 2016, 2018; Wei et al., 2013; Yan et al., 2009, 2010, 2016）。其中，平均首次注视位置和跳入新词的眼跳距离主要和新词的副中央凹加工效率有关，跳出新词的眼跳距离主要和新词的中央凹加工效率有关（Liu et al., 2015, 2016; Yan et al., 2010, 2016）。本研究结果发现，与正常儿童相比，DD 儿童再注视比率较高，跳入新词的眼跳距离较短，表明 DD 儿童在新词学习上的眼跳定位效率低下，可能是由于副中央凹预视效率较低所致。这可能是由于：

第一，DD 儿童的阅读知觉广度较小，在副中央凹中无法预视到新词的全部信息（熊建萍, 2014; Yan 等人, 2010）。熊建萍（2014）发现，汉语 DD 儿童的阅读知觉广度仅限于注视点右侧 1-2 个汉字，远远小于同年龄正常儿童（知觉广度为注视点右侧 3 个汉字）。Pan, Yan, Laubrock, Shu 和 Kliegl（2014）也发现，DD 儿童在加工双字词和三字词时，单次注视的落点位置比正常儿童更偏向词首，表现出注视位置缺陷。由于本研究中的新词均是双字词，DD 儿童在对新词进行副中央凹加工时，可能只能预视到新词的首字信息，因此无法向正常儿童一样根据词长有效调节眼跳定位。

第二，由于本研究中的 DD 儿童在正字法、语音、形-音转换自动化加工及反映多种低水平认知加工的阅读流畅性上均存在缺陷（Ho et al., 2000; Ho et al., 2002; Meng et al., 2011; Yan, Pan, Laubrock, Kliegl, & Shu, 2013），即在汉字加工模式上存在缺陷，导致他们：（1）在中央凹加工中需要耗费更多的认知资源，分配到副中央凹预视新词的认知资源较少（Yan et al., 2013）；（2）在对新词进行副中央凹加工时，获取新词正字法、语音等信息的有效性降低。因此，他们只能采取较为保守的眼跳策略，即缩短眼跳距离、将首次注视落点靠近词首，以便对新词进行再注视，通过多次加工获取新词信息，保证阅读效率。

需要说明的是，考虑到本研究中的 DD 儿童在识字量上显著低于匹配组儿童，可能导致他们在阅读中遇到更多的生词，进而降低阅读中的新词学习效率。因此在材料编制时，我们选取适合三年级儿童（与 DD 儿童阅读能力匹配）阅读的句子作为实验材料，保证小学五年

级的发展性阅读障碍儿童在阅读句子过程中，可以识别每个汉字，避免他们由于识字量较少影响其新词学习效率。

本研究结果还发现，DD 儿童跳出新词的眼跳距离与正常儿童没有差异，表明两组儿童在中央凹中对新词的加工效率相当。结合白学军等人（2019）研究结果，即与正常儿童相比，DD 儿童在中央凹对新词加工时需要更长时间，表明 DD 儿童新词加工效率低下似乎仅表现在眼动行为的“when”方面，而并未表现在“where”方面。这可能与新词学习的特殊性有关：由于新词类似于极端低频词，不论是正常儿童，还是 DD 儿童，在中央凹中加工新词耗费的认知资源都达到了天花板效应，意味着他们只将少量认知资源用于在副中央凹加工下一词，因此两组儿童并未在跳出新词的眼跳距离上表现出应有的差异。

4.2 学习阶段在 DD 儿童新词学习眼跳定位中的调节作用

在汉语阅读中，目标词的加工难度会影响读者的眼跳定位：目标词的加工难度越大（如，词频较低、预测性较低、视觉复杂性较高等），跳入目标词的眼跳距离越短，在目标词上的首次注视落点位置越靠近词首，这是由于副中央凹的加工难度增大导致的；同时还会使跳出目标词的眼跳距离更短，这是由于中央凹加工难度增大导致的（Liu et al., 2015, 2016, 2018; Ma et al., 2015; Wei et al., 2013; Yan et al., 2010, 2016）。本研究结果发现，随着新词学习次数的增加，CA 儿童在新词上的首次注视位置更靠近词中心、跳出新词的眼跳距离增长。表明随着学习次数的增多，CA 儿童对新词的熟悉性增加，在新词形-音-义之间建立了更为巩固的联结，进而减小了新词在副中央凹的预视难度和在中央凹的加工难度，促进了他们在新词上的眼跳定位。

本研究结果还发现，与正常儿童相比：（1）学习次数的增加使 DD 儿童跳出新词的眼跳距离有所增长，但增加幅度仍然小于正常儿童。表明学习次数的增加虽然通过促进新词在中央凹处的加工，加长了 DD 儿童跳出新词的眼跳距离，但促进效率小于正常儿童。根据 E-Z 读者模型（Reichle et al., 2006），阅读过程中的眼跳定位包括两个加工阶段，第一是词汇通达的早期阶段，即熟悉性检验阶段。第二是眼跳计划阶段。结合本研究结果发现，虽然学习次数的增加能够增加新词的熟悉性，有助于 DD 儿童完成词汇的熟悉性检验，进入眼跳计划阶段。但由于 DD 儿童对眼跳误差的调整及眼跳适应能力均差于正常儿童（Freedman, Molholm, Gray, Belyusar, & Foxe, 2017），在对新词进行眼跳计划实施的过程中，不能像正常儿童一样迅速有效地将眼跳调整到预期的落点位置，因此表现出较小的学习次数促进作用。

（2）学习次数的增加并没有影响 DD 儿童跳入新词的眼跳距离和平均首次注视位置。表明 DD 儿童不能像正常儿童一样利用学习次数的增加，促进新词在副中央凹处的加工，对跳入新词的眼跳距离产生影响。这可能是由于相比于正常儿童，DD 儿童的词汇识别的效率较低（白学军等, 2019），将大量的认知资源集中到中央凹，分配给副中央凹的认知资源较少，导致他们在学习加工难度较大的新词时，尽管经过多次重复学习，可依然无法利用学习次数改善对新词在副中央凹处的预视效率，因此没有表现出促进作用。

5 结论

在本研究条件下得出如下结论：（1）DD 儿童在新词学习中的眼跳定位存在缺陷，即跳入新词的眼跳距离较短，多次注视中的首次注视的落点位置更靠近词首；（2）DD 儿童通过学习次数调整新词学习中眼跳定位的能力存在缺陷，即 DD 儿童不能随着学习次数的增多，有效调节跳入新词的眼跳距离和落在新词上的平均首次注视位置。

参考文献

Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of memory & language*, *59*(4), 390–412.

Bai, X. J., Meng, H. X., Wang, J. X., Tian, J., Zang, C. L., & Yan, G. L. (2011). The landing positions of dyslexic, age-matched and ability-matched children during reading spaced text. *Acta Psychologica Sinica*, *43*(8), 851–862.

[白学军, 孟红霞, 王敬欣, 田静, 臧传丽, 闫国利. (2011). 阅读障碍儿童与其年龄和能力匹配儿童阅读空格文本的注视位置效应. *心理学报*, *43*(8), 851–862.]

Bai, X. J., Ma, J., Lin, X., Lian, K. Y., Tan, K., Yang, Y., & Liang, F. F. (2019). The efficiency and improvement of novel word's learning in Chinese children with developmental dyslexia during natural reading. *Acta Psychologica Sinica*, *51* (4), 471–483.

[白学军, 马杰, 李馨, 连坤予, 谭珂, 杨宇, 梁菲菲. (2019). 发展性阅读障碍儿童的新词习得及其改善. *心理学报*, *51*(4), 471–483.]

Bai, X. J., Zhang, M. Z., Meng, H. X., Tan, K., & Wang, W. (2018). The effects of word segmentation on Chinese developmental dyslexia: A comparison in oral and silent sentence reading. *Studies of Psychology and Behavior*, *16*(5), 594–602.

[白学军, 张明哲, 孟红霞, 谭珂, 王雯. (2018). 词边界信息对发展性阅读障碍儿童朗读和默读影响的眼动研究. *心理与行为研究*, *16*(5), 594–602.]

Bates, D., Maechler, M., & Bolker, B. (2012). Lme4: Linear mixed-effects models using S4 classes. R package version 0.999375–42.

Blythe, H. I., & Joseph, H. S. S. L. (2011). Children's eye movements during reading. In S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling (Eds.), *The Oxford handbook of eye movements* (pp. 643–662). Oxford, England: Oxford University Press.

Blythe, H. I., Liang, F. F., Zang, C. L., Wang, J. X., Yan, G. L., Bai, X. J., & Liversedge, S. P. (2012). Inserting spaces into Chinese text helps readers to learn new words: An eye movement study. *Journal of Memory & Language*, *67*(2), 241–254.

Chaffin, R., Morris, R. K., & Seely, R. E. (2001). Learning new word meanings from context: A study of eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *27*(1), 225–235.

Cheng, Y., Li, L., & Wu, X. (2015).. *Frontiers in Psychology*, *6*, 440.

Chu, M. M. K., & Leung, M The reciprocal relationship between compounding awareness and vocabulary knowledge in Chinese: A latent growth model study. T. (2005). Reading strategy of Hong Kong school-aged children: The development of word-level and

character-level processing. *Applied Psycholinguistics*, *26*, 505–520.

Cutter, M. G., Drieghe, D., & Liversedge, S. P. (2017). Reading sentences of uniform word length: Evidence for the adaptation of the preferred saccade length during reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *43*(11), 1895–1911.

Denckla, M. B., & Rudel, R. (1974). Rapid "automatized" naming of pictured objects, colors, letters and numbers by normal children. *Cortex, 10*(2), 186–202.

Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E.M., & Kliegl, R. (2005). Swift: a dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review, 112*(4), 777–813.

Freedman, E. G., Molholm, S., Gray, M. J., Belyusar, D., & Foxe, J. J. (2017). Saccade adaptation deficits in developmental dyslexia suggest disruption of cerebellar-dependent learning. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, *9*(1), 1–8.

Guo, Z. Y., Tan, K., Song, X., Peng, G. H., & Bai, X. J. (2018). The modulation of visual complexity and character-spacing on the visual crowding effect of Chinese-speaking children with developmental dyslexia: Evidence from eye movements. *Studies of Psychology and Behavior*, *16*(5), 603–611.

[郭志英，谭珂，宋星，彭国慧，白学军．(2018). 视觉复杂性和字间距调节汉语发展性阅读障碍儿童的视觉拥挤效应:来自眼动的证据．*心理与行为研究*, *16*(5), 603–611.]

Ho, C. S., Chan, D. W., Tsang, S. M., & Lee, S. H. (2002). The cognitive profile and multiple-deficit hypothesis in Chinese developmental dyslexia. *Developmental Psychology*, *38*(4), 543–553.

Ho, S. H., Law, P. S., & Ng, P. M. (2000). The phonological deficit hypothesis in Chinese developmental dyslexia. *Reading & Writing*, *13*(1–2), 57–79.

Hyönä, J., Yan, M., & Vainio, S. (2018). Morphological structure influences the initial landing position in words during reading Finnish. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*(1), 122–130.

Joseph, H., & Nation, K. (2018). Examining incidental word learning during reading in children: The role of context. *Journal of Experimental Child Psychology*, *166*, 190–211.

Joseph, H. S. S. L., Liversedge, S. P., Blythe, H. I., White, S. J., & Rayner, K. (2009). Word length and landing position effects during reading in children and adults. *Vision Research*, *49*(16), 2078–2086.

Joseph, H. S. S. L., Wonnacott, E., Forbes, P., & Nation, K. (2014). Becoming a written word: Eye movements reveal order of acquisition effects following incidental exposure to new words during silent reading. *Cognition*, *133*(1), 238–248.

Kuhn, M. R., & Stahl, S. A. (1998). Teaching children to learn word meanings from context: A synthesis and some questions. *Journal of Literacy Research*, *30*(1), 119–138.

Li, D., Hu, K.D., Chen, G.P., Jin, Y., & Li, M. (1988). Test report of Raven's Progressive Matrices (CRT) of Shanghai city. *Psychological Science*, (4), 29–33.

[李丹，胡克定，陈国鹏，金瑜，李眉. (1988). 瑞文测验联合型（CRT）上海市区试测报告．*心理科学*, (4), 29–33.]

Li, X., Wang, W., Liang, F. F., Yang, Y., Lian. K. Y., Zhang, M. Z., & Bai, X. J. (2019). Explaining RAN Deficit of Chinese children with developmental dyslexia: The controversy between parafoveal preview benefit and parafoveal load cost. *Journal of Psychological Science*, *42*(1), 43–49.

[李馨，王雯，梁菲菲，杨宇，连坤予，张明哲，白学军. (2019). 汉语发展性阅读障碍儿童的快速命名缺陷：副中央凹预视效益小和负荷代价大之争．*心理科学*, *42*(1), 43–49.]

Li, X., Liu, P., & Rayner, K. (2011). Eye movement guidance in Chinese reading: Is there a preferred viewing location? *Vision Research*, *51*(10), 1146–1156.

Li, L., & Wu, X. (2015). Effects of metalinguistic awareness on reading comprehension and the mediator role of reading fluency from grades 2 to 4. *Plos One*, *10*(3), 1–16.

Liang, F. F., Blythe, H. I., Bai, X. J., Yan, G. L., Li, X. S., Zang, C. L., & Liversedge, S. P. (2017). The role of character positional frequency on Chinese word learning during natural reading. *Plos One*, *12*(11), 1–24.

Liang, F. F., Blythe, H. I., Zang, C. L., Bai, X. J., Yan, G. L., & Liversedge, S. P. (2015). Positional character frequency and word spacing facilitate the acquisition of novel words during Chinese children's reading. *Journal of Cognitive Psychology*, *27*(5), 594–608.

Liang, F. F., Wang, Y. S., Zhang, M. M., Yan, G. L., & Bai, X. J. (2016). The familiarity of morphemes modulating word spacing effects on the acquisition of novel Chinese vocabulary. *Journal of Psychological Science*, *39*(2), 258–264.

[梁菲菲，王永胜，张慢慢，闫国利，白学军．(2016). 新词词素熟悉性影响视觉词切分线索在新词学习中的促进作用．*心理科学*, *39*(2), 258–264.]

Liang, F. F., Zhang, P., Zhang, Q. H., Wang, Y. S., & Bai, X. J. (2017). Different performance of word learning capability between children and adults in natural reading: Evidence from eye movements. *Journal of Psychological Science*, *40*(4), 863–869.

[梁菲菲，章鹏，张琪涵，王永胜，白学军. (2017). 自然阅读中儿童和成人新词学习能力的差异比较：基于眼动的证据．*心理科学*, *40*(4), 863–869.]

Lin, C. D., & Zhang, H. C. (1986). *The Chinese revision of WISC–R [in Chinese]*. Beijing, China: Beijing Teachers College Press.

[林传鼎，张厚粲. (1986). *韦氏儿童智力量表中国修订本*. 北京：北京师范大学.]

Ling, W. S., & Bin, Z. S. (1988). *Method of psychology test [in Chinese]*. Beijing, China: Science Press.

[凌文辁，滨治世. (1988). *心理测验法*. 北京：科学出版社.]

Liu, Y., Guo, S., Yu, L., & Reichle, E. D. (2018). Word predictability affects saccade length in Chinese reading: An evaluation of the dynamic-adjustment model. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(5), 1891–1899.

Liu, Y., Huang, R., Li, Y., & Gao, D. (2017). The word frequency effect on saccade targeting during Chinese reading: Evidence from a survival analysis of saccade length. *Frontiers in Psychology*, *8*, 116.

Liu, Y., Reichle, E. D., & Li, X. (2015). Parafoveal processing affects outgoing saccade length during the reading of Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*(4), 1229–1236.

Liu, Y., Reichle, E. D., & Li, X. (2016). The effect of word frequency and parafoveal preview on saccade length during the reading of Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *42*(7), 1008–1025.

Liu, Y., Yu, L., & Reichle, E. D. (2019). The dynamic adjustment of saccades during Chinese reading: Evidence from eye movements and simulations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *45*(3), 535–543.

Lowell, R., & Morris, R. K. (2014). Word length effects on novel words: Evidence from eye movements. *Attention Perception & Psychophysics*, *76*(1), 179–189.

Ma, G. J., & Li, X. S. (2015). How character complexity modulates eye movement control in Chinese reading. *Reading and Writing*, *28*(6), 747–761.

Meng, X., Cheng-Lai, A., Zeng, B., Stein, J. F., & Zhou, X. (2011). Dynamic visual perception and reading development in Chinese school children. *Annals of Dyslexia*, *61*(2), 161–176.

Nagy, W., & Scott, J. A. (2000). Vocabulary processes. In M. L. Kamil, P. Mosenthal, P. D. Pearson, & R. Bar (Eds.), *Handbook of reading research* (Vol. 3, pp. 269–284). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Pan, J., Yan, M., Laubrock, J., Shu, H., & Kliegl, R. (2014). Saccade-target selection of dyslexic children when reading Chinese. *Vision Research*, *97*(4), 24–30.

Paterson, K. B., Almabruk, A. A. A., McGowan, V. A., White, S. J., & Jordan, T. R. (2015). Effects of word length on eye movement control: The evidence from Arabic. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*(5), 1443–1450.

Paterson, K. B., & Jordan, T. R. (2010). Effects of increased letter spacing on word identification and eye guidance during reading. *Memory & Cognition*, *38*(4), 502–512.

Perea, M., & Acha, J. (2009). Space information is important for reading. *Vision Research*, *49*(15), 1994–2000.

Pollatsek, A., Tan, L. H., & Rayner, K. (2000). The role of phonological codes in integrating information across saccadic eye movements in Chinese character identification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*, 607–633.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Rayner, K. (2009). Eye movements and attention during reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental*

Psychology, *62*(8), 1457–1506.

Rayner, K., Ashby, J., Pollatsek, A., & Reichle, E. D. (2004). The effects of frequency and predictability on eye fixations in reading: Implications for the E–Z Reader model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *30*, 720–730.

Rayner, K., Binder, K. S., Ashby, J., & Pollatsek, A. (2001). Eye movement control in reading: Word predictability has little influence on initial landing positions in words. *Vision Research*, *41*(7), 943–954.

Rayner, K., Fischer, M. H., & Pollatsek, A. (1998). Unspaced text interferes with both word identification and eye movement control. *Vision Research*, *38*(8), 1129–1144.

Reichle, E. D., Liversedge, S. P., Drieghe, D., Blythe, H. I., Joseph, H. S. S. L., White, S. J., & Rayner, K. (2013). Using E-Z reader to examine the concurrent development of eye-movement control and reading skill. *Developmental Review*, *33*, 110–149.

Reichle, E. D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2006). E–Z reader: A cognitive-control, serial-attention model of eye-movement behavior during reading. *Cognitive Systems Research*, *7*(1), 4–22.

Sheridan, H., Rayner, K., & Reingold, E. M. (2013). Unsegmented text delays word identification: Evidence from a survival analysis of fixation durations. *Visual Cognition*, *21*(1), 38–60.

Shu, H., McBride-Chang, C., Wu, S., & Liu, H. (2006). Understanding Chinese developmental dyslexia: Morphological awareness as a core cognitive construct. *Journal of Educational Psychology*, *98*(1), 122–133.

Shu, H., Meng, X., Chen, X., Luan, H., & Cao, F. (2005). The subtypes of developmental dyslexia in Chinese: Evidence from three cases. *Dyslexia*, *11*(4), 311–329.

Wang, X. C. (2010). *The cognitive process foundation of the Chinese developmental dyslexia with phonological and orthographic deficit* (Unpublished doctorial dissertation). East China Normal University.

[王晓辰. (2010). *汉语发展性阅读障碍语音及正字法缺损的认知过程基础*(博士学位论文). 华东师范大学.]

Wang, X. L., & Tao, B. P. (1996). *Chinese character recognition test battery and assessment scale for primary school children*. Shanghai, China: Shanghai Education Press.

[王孝玲, 陶保平. (1996). *小学生识字量测试题库及评价量表*. 上海: 上海教育出版社.]

Wang, Y. S., Chen, M. J., Zhao, B. J., Li, X., & Bai, Y. G. (2017). The parafoveal processing of character n+1 and character n+2 serially influence the target selection during Chinese reading. *Studies of Psychology and Behavior*, *15*(6), 756–765.

[王永胜, 陈茗静, 赵冰洁, 李馨, 白宇鸽. (2017). 副中央凹中字 n＋1 与字 n＋2 在眼跳目标选择中的作用. *心理与行为研究*, *15*(6), 756–765.]

Wei, W., Li, X., & Pollatsek, A. (2013). Word properties of a fixated region affect outgoing saccade length in Chinese reading. *Vision Research*, *80*, 1–6.

Weighall, A. R., Henderson, L. M., Barr, D. J., Cairney, S. A., & Gaskell, M. G. (2017). Eye-tracking the time-course of novel word learning and lexical competition in adults and children. *Brain and Language*, *167*, 13–27.

Xiong, J. P. (2014). *The oculormotor characters of Chinese developmental dyslexia* (Unpublished doctorial dissertation). Tianjin Normal University.

[熊建萍. (2014). *汉语发展性阅读障碍儿童的眼动研究*(博士学位论文). 天津师范大学.]

Yan, M., & Kliegl, R. (2016). CarPrice versus CarpRice: Word boundary ambiguity influences saccade target selection during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Child Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *42*(11), 1832–1838.

Yan, M., Kliegl, R., Richter, E. M., Nuthmann, A., & Shu, H. (2010). Flexible saccade–target selection in Chinese reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*(4), 705–725.

Yan, M., Kliegl, R., Shu, H., Pan, J., & Zhou, X. (2010). Parafoveal load of word n+1 modulates preprocessing effectiveness of word n+2 in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*(6), 1669–1676.

Yan, M., Pan, J., Laubrock, J., Kliegl, R., & Shu, H. (2013). Parafoveal processing efficiency in rapid automatized naming: A comparison between Chinese normal and dyslexic children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *115*(3), 579–589.

Yan, M., Richter, E. M., Shu, H., & Kliegl, R. (2009). Readers of Chinese extract semantic information from parafoveal words.

Psychonomic Bulletin and Review, *16*(3), 561–566.

Yan, M., Zhou, W., Shu, H., Yusupu, R., Miao, D., Krügel, A., & Kliegl, R. (2014). Eye movements guided by morphological structure: Evidence from the Uighur language. *Cognition*, *132*(2), 181–215.

Zang, C., Liang, F., Bai, X., Yan, G., & Liversedge, S. P. (2013). Interword spacing and landing position effects during Chinese reading in children and adults. J*ournal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *39*(3), 720–734.

Zhang, M., Xie, W., Xu, Y., & Meng, X. (2018). Auditory temporal perceptual learning and transfer in Chinese-speaking children with developmental dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, *74,* 146–159.

Zou, Y. C. (2003). *Information processing of developmental dyslexia in Chinese children* (Unpublished doctorial dissertation). South China Normal University.

[邹艳春. (2003). *汉语学生发展性阅读障碍的信息加工特点研究*(博士学位论文). 华南师范大学.]

Saccadic Targeting Deficits of Chinese Children with Developmental Dyslexia: Evidence from Novel Word Learning in Reading

LIANG Feifei[1], MA Jie[2], LI Xin[2], LIAN Kunyu[2], TAN Ke[2], BAI Xuejun[1, 2]

([1] School of Education and Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

([2] *Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China*)

Abstract

It is reported that, one primary way for school children to acquire vocabularies is by deriving word meanings from contexts. The typical deficit of developmental dyslexia is that they have smaller vocabulary size than their chronological age-matched children. One recent study has examined the cognitive processes underlying dyslexic children's novel word learning during reading by using eye tracking. This is a method that is well established as a means of investigating reading behaviour by measuring when and where the eye fixates on text as written language is processed naturally. It should be noted that all the studies investigating novel word learning measured fixation durations on novel words fixated by dyslexic children with a view to quantifying the time required for those novel words to be successfully identified within the context of a sentence. In the present study we investigated saccadic targeting in relation to novel word learning in dyslexia children.

Each novel word was embedded into eight sentences. Each provided a context for readers to form a new lexical representation. Two groups of dyslexic children and age-matched control children's eye movements were recorded when they read sentences, each including 22 individuals. Given the ongoing lexical processing difficulty influences the basic decision of "where to target" in Chinese reading, the novel word poses substantial processing difficulty, particular for dyslexic children with inefficient lexical processing, we predict that dyslexic children would be less efficient to target the eyes than control children did in novel word learning.

Consistent with our prediction, the mean initial landing positions on novel words were further away from the word center for dyslexic than control children, showing that the basic decision of saccadic targeting on novel words was less efficient for dyslexic than control children. Additionally, we categorized 8 exposures to novel words as being two learning stages: Learning stage 1 including exposures 1 to 4; and learning stage 2 including the exposures from 5 to 8. We aimed to examine whether they were able to modulate their saccadic targeting as the accumulated learning of novel words. The results showed that, control children targeted the initial saccades closer to the word centers with increased exposures, while such effect did not occur for dyslexic children. These findings indicate that control children adjusted the initial saccadic targeting based on lexical familiarity information, while dyslexic children did not.

On the basis of the findings above, we argue that, dyslexic children may adopt more careful strategy of saccade-target selection given their lower efficiency in word processing, such that they had lower efficiencies in the basic decision of saccadic targeting, as well as the usage of "lexical familiarity information" to modulate the saccadic targeting to novel words. This might account for their low word acquisition efficiency in reading.

Key words developmental dyslexia; novel word learning; saccade targeting; Chinese reading